

35. 筋収縮の実験

問 1

グリセリンは細胞膜を溶かす働きがあるので、皮膚の角質を除去するための塗り薬の主成分でもある。

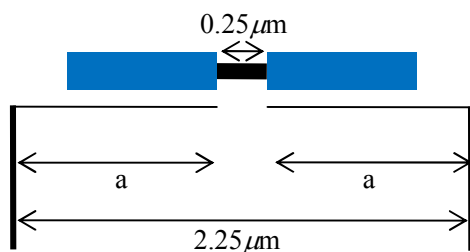
問 2

サルコメアの長さを $3.65\mu\text{m}$ から短くしていくにしたがい相対張力が大きくなっていき、 $2.25\mu\text{m}$ になったとき相対張力が初めて 100%になる。

よって下図より、

$$2a + 0.25 = 2.25$$

$$\therefore a = 1.0\mu\text{m}$$



サルコメアの長さを長くしていくと、

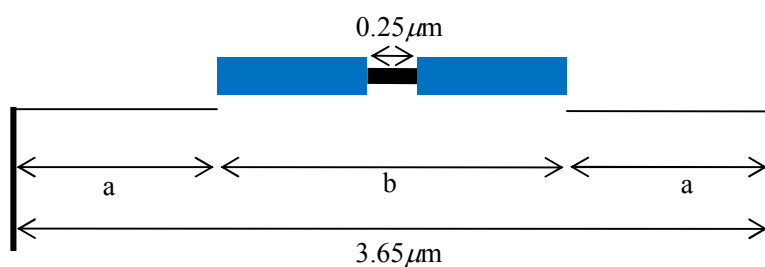
$3.65\mu\text{m}$ になったとき相対張力が初めて 0%になる。

よって下図より、

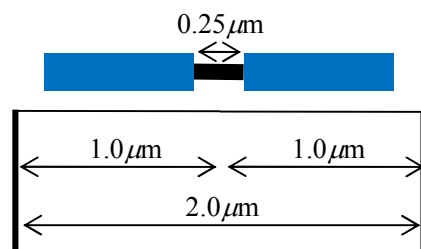
$$2a + b = 3.65\mu\text{m}$$

よって、

$$b = 3.65 - 2 \times 1.0 = 1.65\mu\text{m}$$



補足図



36. 筋収縮のエネルギー源

問2

モノヨード酢酸 ICH_2COOH (MIA ともいう)

タンパク質中のチオール基 (SH 基), メチルチオ基 (SCH_3 基), イミダゾール基, アミノ基などと反応するが, 特に-SH 基との反応性が高く, 代表的な SH 基修飾試薬である。

すなわち SH 基が活性に関与する酵素 (SH 酵素) の不可逆的阻害剤である。

SH 酵素: アルコールデヒドロゲナーゼ, グリセルアルデヒド-3-リン酸デヒドロゲナーゼ, 乳酸デヒドロゲナーゼ, コハク酸デヒドロゲナーゼなどの脱水素酵素や
パパインなどタンパク質分解酵素がある。

乳酸が生成する過程での SH 酵素は, グリセルアルデヒド-3-リン酸デヒドロゲナーゼと
乳酸デヒドロゲナーゼであり, これらの活性がモノヨード酢酸により阻害される。

グリセルアルデヒド-3-リン酸デヒドロゲナーゼ

「グリセルアルデヒド-3-リン酸+Pi \rightarrow 1,3-ビスホスホグリセリン酸」を触媒
乳酸デヒドロゲナーゼ

「ピルビン酸 \rightarrow 乳酸」を触媒

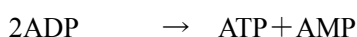
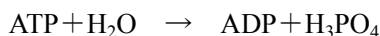
問6

モノヨード酢酸は解糖系を阻害するから, 好気呼吸と解糖による ATP 生成が止まる。

ジニトロフルオロベンゼンはクレアチンキナーゼを阻害するから,

「クレアチンリン酸+ADP \rightarrow クレアチン+ATP」を阻害する。

よって, 表の ATP, ADP, AMP の量は次の2つの反応を反映している。



ここで,



ATP の変化量を $-\alpha$ とおくと, ADP の変化量は $+\alpha$



ADP の変化量を -2β とおくと, ATP の変化量は $+\beta$, AMP の変化量は $+\beta$

2つの反応をまとめると,

$$\text{ATP の変化量} = -\alpha + \beta$$

$$\text{ADP の変化量} = \alpha - 2\beta$$

$$\text{AMP の変化量} = \beta$$

表の「差」は, それぞれの変化量のことだから, $-\alpha + \beta = -0.44$, $x = \alpha - 2\beta$, $\beta = 0.14$

よって, $\alpha = 0.58$

α は ATP 消費量を表すから, ATP の消費量は, $0.58\mu\text{モル}$

また, $x = \alpha - 2\beta = 0.58 - 2 \times 0.14 = +0.30$

37. モータータンパク質

細胞骨格とは

真核細胞の細胞質には、タンパク質性の線維が張りめぐらされており、これを細胞骨格という。

細胞骨格は下の3つの細胞質フィラメントから構成されている。

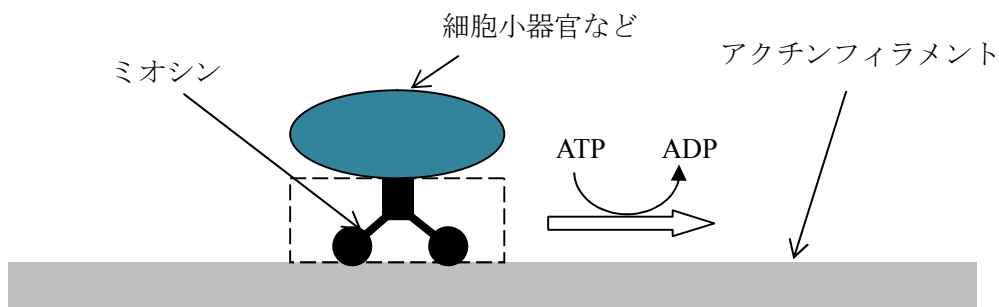
細胞質フィラメント	{	微小管：外径 25nm
		中間径フィラメント(別名:10nm フィラメント):外径 7~11nm
		ミクロフィラメント(アクチンフィラメントなど):外径 5~7nm

細胞骨格のはたらき

- ・細胞を支え、その形を維持したり変えたりする。
 - 中間径フィラメントが関与
- ・細胞内で小器官の位置を固定している。
- ・ベン毛運動・繊毛運動
 - 微小管をダイニンと呼ばれるモータータンパク質が動かすことによる。
- ・中心体を構成
 - 中心体は2本の中心小体(中心粒)からなり、
 - 中心小体は、微小管3本を1束とする束が9束円形は並んだ円柱の中に
 - 2本の中心微小管をもつ構造(9+2構造)をしている。
- ・紡錘糸を構成
 - 紡錘糸は微小管であり、微小管はチューブリン(α -チューブリンと β -チューブリンの2量体)というタンパク質が連結した円筒構造をしている。
 - 有糸分裂前期から中期
 - チューブリン付加により紡錘糸が長くなっていき、紡錘体が形成される。
 - 有糸分裂後期
 - 動原体部分の酵素がチューブリンを紡錘糸の動原体側の端から脱落させながら、
 - 紡錘糸を短くしていく。同時に動原体と結合したキネシンと呼ばれるモータータンパク質が紡錘糸上を動く。その結果、染色体が両極へ移動する。
- ・細胞外構造と相互作用して細胞を所定の位置に固定するのに関与
 - 中間径フィラメントが関与
- ・筋収縮
 - モータータンパク質であるミオシンフィラメントがアクチンフィラメントを足場に
 - 首振り運動をすることによる。
- ・動物細胞が細胞質分裂するとき起こるくびれ
 - アクチンフィラメントとミオシンが関与

・細胞小器官の移動（原形質流動）

アクチンフィラメントや微小管がレールの役割をし、
 アクチンフィラメント上ではミオシンと呼ばれるモータータンパク質が、
 微小管上ではキネシンやダイニンと呼ばれるモータータンパク質が、
 細胞小器官と結合した状態で、ウォーキング運動をしながら移動する。



モータータンパク質は、波線部で囲まれた2本足がATPの化学エネルギーを利用して閉じたり開いたり構造変化を繰り返すことによって、アクチンフィラメント上を移動する。このとき、荷物にあたる細胞小器官などの移動が原形質流動として観察される。

モータータンパク質	結合する細胞骨格	主なはたらき
ミオシン	アクチンフィラメント	筋収縮 動物細胞の細胞質分裂 小胞・細胞小器官の細胞内輸送 原形質流動 アメーバ運動
キネシン	微小管	有糸分裂での紡錘体形成 有糸分裂での染色体の両極への移動 小胞・細胞小器官の細胞内輸送
ダイニン		べん毛運動 繊毛運動 小胞・細胞小器官の細胞内輸送

39. 移植拒絶反応

問 1

種

交配により継続的に子孫を残せる個体群をいう。

系統

遺伝学の上で共通の祖先をもち且つある形質について遺伝子型の等しい個体群をいう。
したがって、理論上は同じ系統に属する個体はすべての形質について同じ遺伝型をもつ。
しかし、実際にはその系統の特徴を否定しない範囲内での変異をもつものもある。
よって、同一系統の個体は、純系のように完全に相同な配偶子をつくるとは限らない。
とくに、植物においてそうである。

つまり、系統と純系はほぼ等しいが、系統は純系ほど純粋なものではない。

尚、実験動物の場合、系統＝純系とみなしてよい。

したがって、実験動物の場合、同一系統の個体間では移植拒絶反応が起こらない。

問 2

実験 1

同一系統の個体間では移植拒絶反応が起こらない。

実験 2

A 系統から初めて皮膚移植を受けると約 10 日で拒絶された。

実験 3

A 系統から 2 回目の皮膚移植を受けると約 5 日で拒絶された。

- ① C 系統からの移植は初めてだから約 10 日で拒絶される。
- ② 拒絶反応は細胞性免疫のはたらきによる。
血清は血液を凝固させたときの上清だから含まれているのは抗体である。
抗体は体液性免疫に関与するが、細胞性免疫には関与しない。
以上より、血清を注射しても無意味である。
ゆえに、約 10 日で拒絶される。
- ③ 拒絶反応は細胞性免疫のはたらきによる。
細胞性免疫に関与する細胞はキラーT 細胞である。
拒絶した個体にはその拒絶を記憶している未熟キラーT 細胞（免疫記憶細胞）がある。
主にリンパ液に存在する細胞をリンパ球という。
T 細胞はリンパに多く含まれているのでリンパ球である。
よって、皮膚移植を拒絶した個体のリンパ球を注射された個体には、
その拒絶を記憶している未熟キラーT 細胞（免疫記憶細胞）が存在するので、
約 5 日で拒絶される。
- ④ T 細胞は胸腺で分化・成熟することにより自己と非自己を識別できるようになる。
この識別はハツカネズミの場合、出生後約 2 週間かかる。

通常、実験動物で遺伝系統のあるネズミといえばハツカネズミである。

よって、胎児期あるいは新生児期のネズミから胸腺を除去すると自己と非自己を識別できない。ゆえに、生着する。

尚、この生着はどの系統のネズミの皮膚を移植しても起こる。

- ⑤ T細胞は胸腺で分化・成熟することにより自己と非自己を識別できるようになる。

この識別はハツカネズミの場合、出生後約2週間かかる。

胸腺では、自己成分と反応した未熟T細胞は死滅してしまう。

よって、胎児期あるいは新生児期に他の系統の個体のリンパ球あるいは他の組織の細胞を注射されると、それと反応するT細胞は胸腺で死滅する。

ゆえに、拒絶反応が起こらず、皮膚は生着する。

ただし、この生着はA系統のネズミに限る。

問3

体液中で悪影響を及ぼす物質・細菌・寄生虫など

抗体が直接対処する。つまり、体液性免疫がはたらく。

細胞内で悪影響を及ぼす物質・ウィルス・細菌（結核菌など）など

直接対処することができないので、抗原提示した細胞そのものを殺す。

つまり細胞性免疫がはたらく。

よって、体液性免疫は(a)(b)(c)(d)、細胞性免疫は(e)

BCG

無毒化した結核菌でワクチン

目的は結核菌に対する免疫記憶形成

ツベルクリン反応

結核菌の培養液を薄めたもので、結核菌の断片なども含まれている。

目的は、結核菌に対する免疫記憶が形成されているかどうかのチェックであり、

記憶されていればツベルクリンに対し細胞性免疫の二次応答が起こり、注射部位周辺が炎症により赤く腫れる。

問4

各個体の細胞表面には、遺伝的に特有のタンパク質があり、それがヘルパーT細胞が自己と非自己を区別したり、キラーT細胞が攻撃目標とするための抗原として機能している。

この抗原を**組織適合抗原**といい、特に拒絶反応に対し強い反応を示す抗原を**主要組織適合抗原 (MHC : Major Histocompatibility Complex)** という。

ヒトの場合、MHCは**HLA (Human Leukocyte Antigen)**とも呼ばれる。

HLA遺伝子は第6染色体上の6対の遺伝子 (A遺伝子, C遺伝子, B遺伝子, DR遺伝子, DQ遺伝子, DP遺伝子) から構成されており、さらにそれぞれの遺伝子は27種類, 10種類, 59種類, 24種類, 9種類, 6種類に区別される。

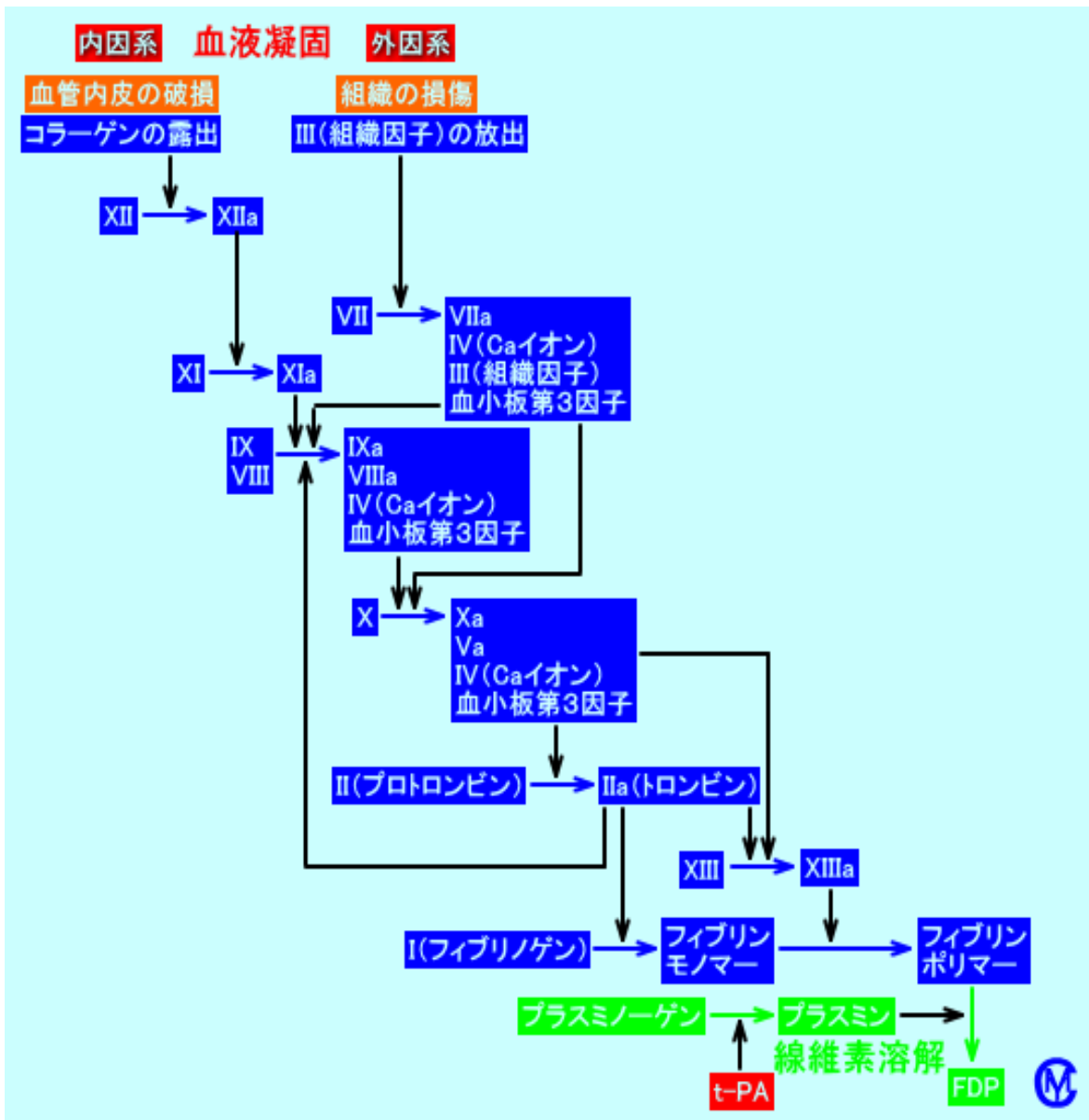
したがって、HLA遺伝子としては、 $27 \times 10 \times 59 \times 24 \times 9 \times 6 = 206435280$ 種類ある。

遺伝は、

- ・完全連鎖であり，DR・DQ・DP の遺伝子は一つながりになっている。
- ・分離の法則より，父からの MHC の対立遺伝子のうちの一方と母からの MHC の対立遺伝子のうちの一方を受け継ぐことになる。

よって，兄弟姉妹間では MHC 遺伝子が一致する確率は $\frac{1}{4}$ である。

40. 血液の成分と血液凝固



<http://hobab.fc2web.com/sub2-siketsukikou.htm>

41. 抗原抗体反応

問 4

大きな抗原抗体複合体が生成すると、白い沈降線ができる。

したがって、b と d 間で抗原抗体反応が起こっている。

穴 b には抗原 B を入れたから、穴 d に入れたのは抗 B 抗体を含む血清である。

図 2 の破線は抗 B 抗体の抗体価を表しているから、

抗 B 抗体を含む血清は採血(2)から調製した血清(2)である。

よって、穴 d は血清(2)

同様に、

c と d 間、c と a 間で抗原抗体反応が起こっている。

穴 d には血清(2)が入っているから穴 c には抗原が入っている。

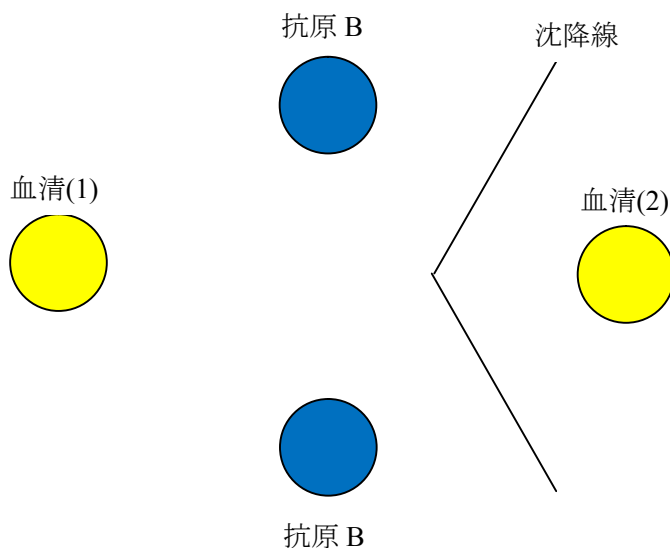
よって、穴 a には血清が入っていることになる。

穴 c に入る抗原はいずれの血清でも抗原抗体反応が起こるから、穴 c は抗原 A。

また、穴 a は血清(1)、

問 5

抗 B 抗体を含む血清は血清(2)だから、b と d の間および c と d の間に沈降線が現れる。



ゲル拡散法

血清に目的の抗体が含まれているかどうかを容易に判定するためのテスト

原理

抗原および抗体は寒天ゲル中を拡散していくので、

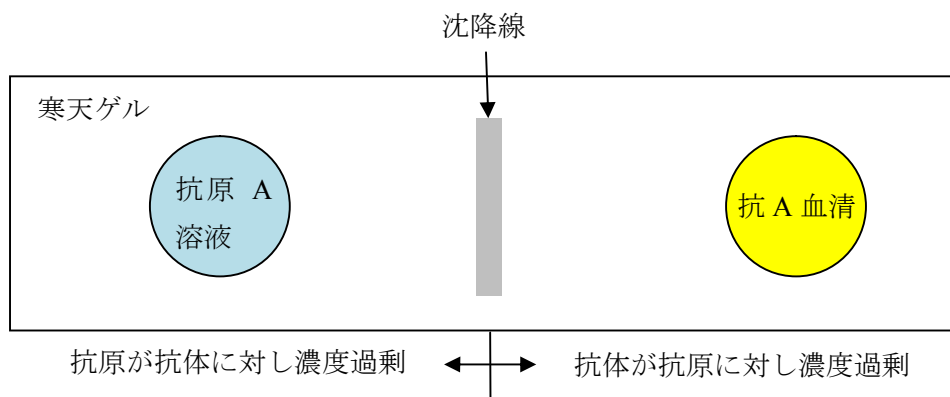
いずれの濃度も穴から遠ざかるにつれ小さくなっていく。

拡散中の抗原と抗体がある濃度比の位置で出会ると大きな抗原抗体複合体を形成する。

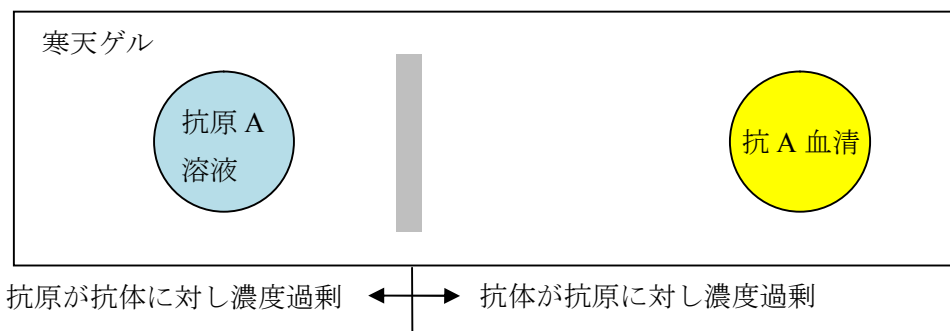
大きな抗原抗体複合体は寒天ゲルに不溶なので、白い沈降線として観察される。

ただし、寒天ゲルに不溶の抗原抗体複合体ができて微量であれば沈降線が観察できない。

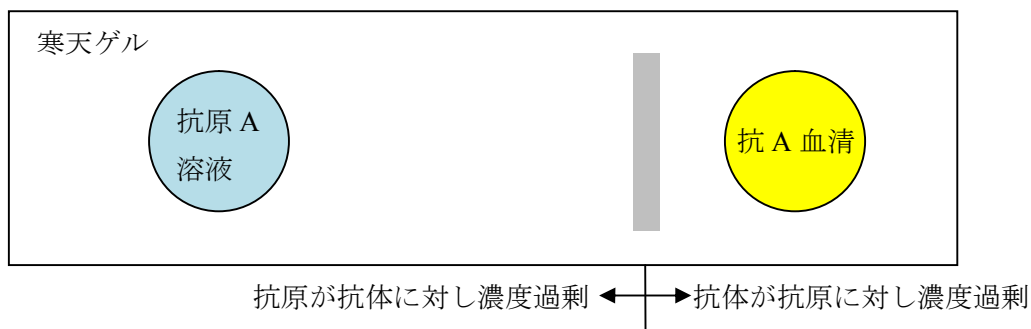
また、抗原濃度が抗体濃度に対してあるいは抗体濃度が抗原濃度に対して過剰な位置では、抗原抗体複合体が小さく寒天ゲルに溶けたままであるため、沈降線ができない。



抗 A 抗体濃度（抗体価）が高い血清では、抗原 A 寄りの位置に沈降線ができる。



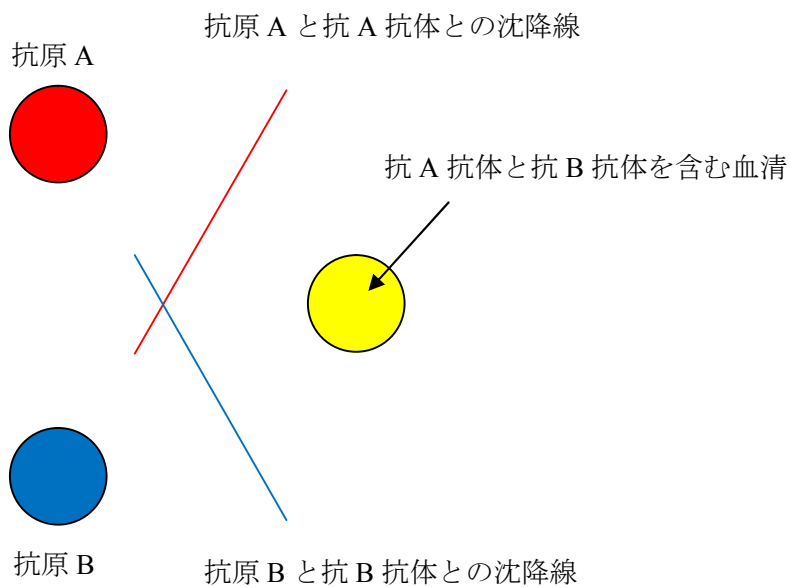
抗 A 抗体濃度（抗体価）が低い血清では，抗 A 血清寄りの位置に沈降線ができる。



二重拡散法

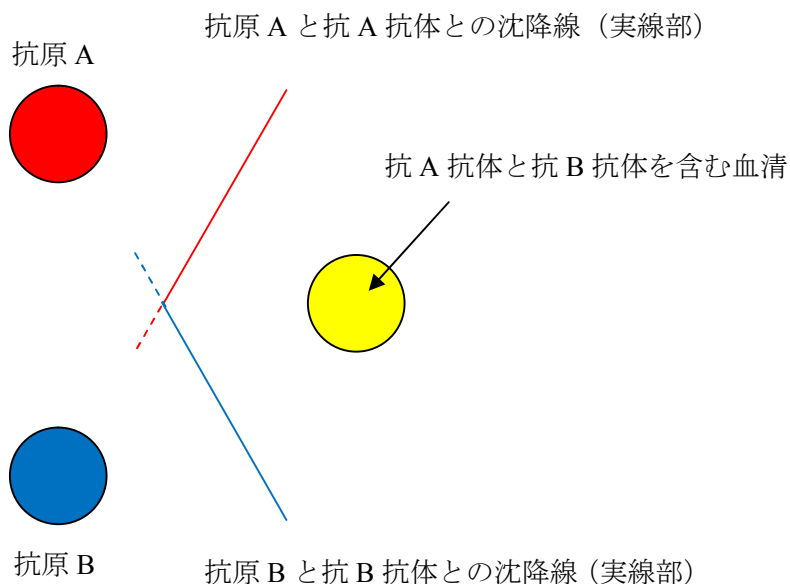
抗原が同じなのか，部分的に共通の構造をもつのか，まったく異なるのかを判定できる。

抗原 A と抗原 B がまったく異なる場合



抗原 A と抗原 B がまったく同じ場合

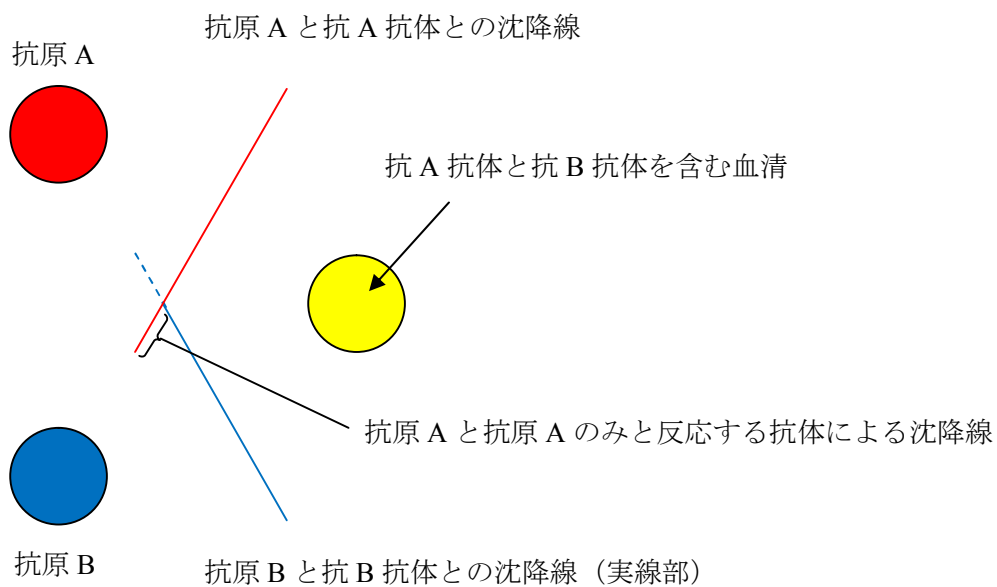
点線部分は抗原過剰となり，沈降線が観察できない。



抗原 B の構造が抗原 A の構造の一部である場合

抗 A 抗体には抗原 A のみと反応する抗体もある。

その抗体と抗原 A の反応は抗原 B の影響を受けない。



42. MHC

問 2

供与側の MHC をレシピエント側の T 細胞が異物と認識するか否かで考えればよい。

(オ)

供与側 (F₁) からの移植片には *a* と *b* の MHC が存在するから、
b の MHC をもたないレシピエントの T 細胞はこれを異物と認識する。
 よって、拒絶反応が起こる (×)。

(カ)

供与側 (F₁) からの移植片には *a* と *b* の MHC が存在するから、
a の MHC をもたないレシピエントはこれを異物と認識する。
 よって、拒絶反応が起こる (×)。

(キ)

供与側 (A 系統) からの移植片には *a* の MHC が存在する。
 レシピエントは *a* の MHC をもつから異物と認識しない。
 よって、拒絶反応なし (○)。

(ク)

供与側 (B 系統) からの移植片には *b* の MHC が存在する。
 レシピエントは *b* の MHC をもつから異物と認識しない。
 よって、拒絶反応なし (○)。

(ケ)

MHC が一致するから拒絶反応なし (○)。

問 3

ab × *ab* より、F₂ の遺伝子型の分離比は、*aa* : *ab* : *bb* = 1 : 2 : 1
 ここで、*aa*, *ab*, *bb* の表現型をそれぞれ A, AB, B とすると、
 F₂ の表現型の分離比は、A : AB : B = 1 : 2 : 1
 よって、

		供与側			
		A	B	AB	AB
レ シ ピ エ ン ト 側	A	○	×	×	×
	B	×	○	×	×
	AB	○	○	○	○
	AB	○	○	○	○

より、拒絶反応が起こらない確率 (○となる確率) は、 $\frac{10}{16} = \frac{5}{8}$

問 4

ヒトは純系でないこととヒトの MHC 遺伝子は非常に多くの種類があることから、両親の MHC 遺伝子はヘテロ接合体であり且つ両親のどの MHC 遺伝子も一致しない場合がほとんどである。子は父と母からそれぞれの対立遺伝子の一方を受け継ぐことになるから、ほとんどの場合、父と母は子に遺伝されなかった MHC 遺伝子をもつことになる。つまり、父と母は子もたない MHC 遺伝子をもっている。そのため、その遺伝子産物を子は異物と認識する。

問 5

問 4 の理由から、父と母の MHC 遺伝子型を仮に、それぞれ ab , cd とすると、子の MHC の遺伝子型の分離比は、

$$ac : ad : bc : bd = 1 : 1 : 1 : 1$$

確率ではすべて区別して考えるというのが鉄則だから、

2 個体の遺伝子型の組み合わせは、 $4^2 = 16$ 通り、

遺伝子型が一致する組み合わせは 4 通り

よって、拒絶反応が起こらない確率は、

$$\frac{4}{16} = \frac{1}{4}$$

補足

「確率ではすべて区別して考える。」理由

区別するしないで確率が変わるわけがない。ならば、区別して扱うほうが扱い易い。